

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2003 年12 月31 日 (31.12.2003)

PCT

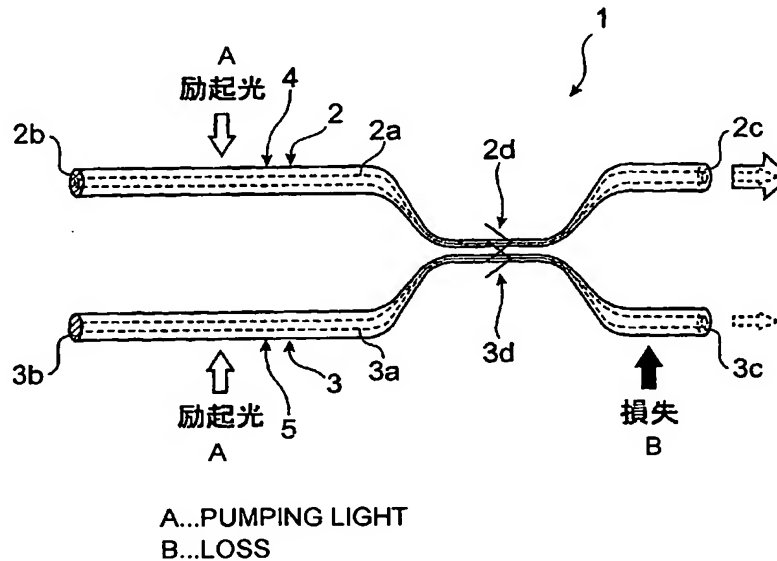
(10) 国際公開番号  
WO 2004/001919 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01S 3/067, 3/07, 3/082 [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/007886
- (22) 国際出願日: 2003 年6 月20 日 (20.06.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2002-181821 2002 年6 月21 日 (21.06.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.)
- (71) 出願人 および  
(72) 発明者: 白川 晃 (AKIRA SHIRAKAWA) [JP/JP]; 〒182-0026 東京都 調布市 小島町1-1-1 RC207 Tokyo (JP).  
植田 憲一 (KENICHI UEDA) [JP/JP]; 〒182-0026 東京都 調布市 小島町 1-1-1 RA310 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 菅 博文 (KAN, Hirofumi) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 宮島 博文 (MIYAJIMA, Hirofumi) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

[続葉有]

(54) Title: FIBER LASER UNIT

(54) 発明の名称: ファイバレーザ装置



(57) Abstract: A fiber laser unit (1) comprising a plurality of fiber lasers (2, 3) generating a laser beam by pumping a laser active substance in cores (2a, 3a) with a pumping light and delivering the laser beam propagating through the cores (2a, 3a) from the end parts (2c, 3c), wherein each fiber laser (2, 3) has the structure of a resonator (4, 5) reflecting the laser beam at the opposite end parts (2b, 2c, 3b, 3c) and such a structure as a part of the core (2a, 3a) is made thin, characterized in that the thinned parts of the cores (2a, 3a) are brought close to each other and injection is synchronized in the resonators (4, 5) by the laser beams exiting the cores (2a, 3a). According to the fiber laser unit (1), coherent addition of lasers can be realized with high addition efficiency through a simple arrangement where the cores (2a, 3a) are brought close to each other and injection is synchronized by the laser beams leaking from the cores (2a, 3a).

(57) 要約: コア 2 a, 3 a 内のレーザ活性物質を励起光で励起してレーザ光を発生し、コア 2 a, 3 a 内にレーザ光を伝播して端部 2 c, 3 c より出力するファイバレーザ 2, 3 を複数本備えるファイバレーザ装置 1

[続葉有]

WO 2004/001919 A1



(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiki et al.);  
〒104-0061 東京都 中央区 銀座一丁目10番6号 銀座  
ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB,  
BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,  
DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,  
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,  
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO,  
NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL,  
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU,  
ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,  
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,  
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許  
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),  
OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

であって、各ファイバレーザ2, 3は、両端部2b, 2c, 3b, 3cにおいてレーザ光を反射する共振器4, 5構造を有するとともにコア2a, 3aの一部を細径化した構造を有し、各コア2a, 3aの細径化部分を近接し、コア2a, 3a内から出たレーザ光により共振器4, 5内で注入同期を行うことを特徴とする。このファイバレーザ装置1によれば、コア2a, 3a間を近接させてコア2a, 3aからしみ出したレーザ光によって注入同期させるという簡単な構成で、加算効率が非常に高いレーザ間のコヒーレント加算を実現できる。

## 明細書

### ファイバレーザ装置

#### 技術分野

本発明は、複数本のファイバレーザを備えるファイバレーザ装置に関する。

#### 5 背景技術

各種レーザに関する開発が盛んに行われており、レーザの中でも高出力でかつ空間コヒーレンスが高いレーザが望まれている。そのための一つ方法として、複数のレーザの出力をコヒーレント加算（結合）して高出力化する方法が知られている。その一例として、レーザアレイ間のエバネッセント結合やタルボット鏡による回折結合によるレーザ間のコヒーレント加算（結合）の研究が進められている。エバネッセント結合の一例としては「D. Botez and D. R. Scifres, "Diode Laser Arrays", Cambridge Studies in Modern Optics, 1994, p. 1」に開示されており、タルボット共振器の例としては、固体レーザに関するものとして

10 「Y. Kono, M. Takeoka, K. Uto, A. Uchida, and F. Kannari, "A Coherent All-Solid-State Laser Array Using the Talbot Effect in a Three-Mirror Cavity", IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 36, 2000, p. 1-8」、レーザダイオードアレイに関するものとして「V. V. Apollonov, S. I. Derzhavin, V. I. Kislov, V. V. Kuzminov, D. A. Mashkovsky, and A. M. Prokhorov, "Phase-locking of the 2D structures", Opt. Express 4, 1999, p. 19-26」

20 に開示されている。

25

#### 発明の開示

しかし、上記したように従来の方法によるコヒーレント加算では、コヒーレント加算されるスーパモードの他にも様々なスーパモードを励振しやすい。また、コヒーレント加算された遠視野像もレーザアレイの空間周波数に対応したフリンジを持ち、ビームパターンが悪い。そのため、従来の方法では、これらが起因した損失の増大により、高い加算効率が得られない等の課題が多く、実用化に至っていない。特に、タルボット共振器の場合、位相結合を生じさせるために非常に精密な調整が必要であり、産業用として用いるには適さない。

そこで、本発明は、コヒーレント加算による加算効率に優れるファイバレーザ装置を提供することを課題とする。

本発明に係るファイバレーザ装置は、コア内のレーザ活性物質を励起光で励起してレーザ光を発生し、コア内にレーザ光を伝播して端部より出力するファイバレーザを複数本備えるファイバレーザ装置であって、各ファイバレーザは、両端部においてレーザ光を反射する共振器構造を有し、各ファイバレーザのコアの一部を近接し、任意のファイバレーザのコア内から出たレーザ光によって他のファイバレーザの共振器内で注入同期を行うことを特徴とする。

このファイバレーザ装置によれば、各ファイバレーザのコアからレーザ光がしみ出し、このしみ出したレーザ光が近接して配置されている他のファイバレーザのコア内に侵入してそのコア内を伝播しているレーザ光と結合して、共振器内で注入同期する。この際、複数本のファイバレーザのうち一本のファイバレーザからレーザ光が出力するように構成しておくこと、そのファイバレーザの共振器内で高い加算効率でレーザ光がコヒーレント加算し、端部よりコヒーレント加算したレーザ光が出力する。

本発明の上記ファイバレーザ装置は、各ファイバレーザのコアの一部を細径化し、各コアの細径化部分を近接させるようにしてもよい。

このファイバレーザ装置によれば、コアを細径化することによってレーザ光が多量にしみ出し、注入同期を促進する。

本発明の上記ファイバレーザ装置は、細径化部分及び近接部分を光ファイバカプラで構成するようにしてもよい。

このファイバレーザ装置によれば、光ファイバカプラによりコアの細径化及びコア間の近接部分を構成することにより、装置全体を簡単に構築することができる。

本発明の上記ファイバレーザ装置は、複数本のファイバレーザのうち一本のファイバレーザ以外のファイバレーザのポート部に損失を与えるようにしてもよい。

このファイバレーザ装置によれば、一本のファイバレーザ以外のファイバレーザのポート部に曲げ損失等の損失を与えることにより、コヒーレント加算したレーザ光を出力するファイバレーザを特定することができる。これによって、ファイバレーザ装置における出力ポートのスイッチングを実現することができる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明に係るファイバレーザ装置の概念図である。

図 2 は、本発明に係る N 本のファイバレーザを備えるファイバレーザ装置におけるコヒーレント加算の模式図である。

図 3 は、本発明の実施の形態に係るファイバレーザ装置の構成図である。

図 4 A は、図 3 の光ファイバカプラの側面図である。

図 4 B は、図 3 の光ファイバカプラの溶融延伸部の平面図である。

図 4 C は、図 4 B の I - I 線に沿った断面図である。

図 5 は、図 3 のファイバレーザ装置の出力スペクトルを示す図である。

図 6 A は、ポート A から出力する場合の Y モードによる出力パターンを示す図である。

図 6 B は、ポート B から出力する場合の Y モードによる出力パターンを示す図である。

図 7 は、図 3 のファイバレーザ装置においてポート A に印可する損失を変えた場合のポート A 及びポート B の出力の変化を示す図である。

図 8 は、本発明に係るコアの細径化及び近接を行う部分を一体型ファイバカップラで構成した場合のファイバレーザ装置の模式図である。

図 9 は、本発明に係るコアの細径化及び近接を行う部分をカスケード接続で構成した場合の模式図である。

## 5 発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して、本発明に係るファイバレーザ装置の実施の形態を説明する。

10 本発明は、高加算効率なコヒーレント加算を実現するために、複数本のファイバレーザのコアの一部を細径化してコア内からレーザ光をしみ出させ、そのしみ出したレーザ光を近接配置した他のファイバレーザのコア内に侵入させて注入同期を行うファイバレーザ装置を構成する。そして、このファイバレーザ装置では、ポート部への曲げ損失の印可等によって一本のファイバレーザからレーザ光を出力する状態としておくと、その一本のファイバレーザから他のファイバレーザのレーザ光とコヒーレント加算した出力が得られる。

15 本実施の形態では、本発明の概念について説明した後、本発明を適用した二本のファイバレーザを備えるファイバレーザ装置について詳細に説明する。また、本実施の形態では、本発明における細径化及び近接を行う部分の構成についても 2 つのパターンで説明する。

20 図 1 及び図 2 を参照して、本発明に係るファイバレーザ装置の概念について説明する。図 1 は、本発明に係るファイバレーザ装置の概念図である。図 2 は、本発明に係る N 本のファイバレーザを備えるファイバレーザ装置におけるコヒーレント加算の模式図である。

25 ファイバレーザ装置 1 は、二本のファイバレーザ 2, 3 を備えている。各ファイバレーザ 2, 3 は、エルビウム (Er) 等のレーザ活性物質をコア 2 a, 3 a 内に添加したシングルモードファイバレーザであり、一端部 2 b, 3 b がレーザ光に対し完全反射かつ他端部 2 c, 3 c がレーザ光に対して部分反射からなる共

振器 4, 5 を各々構成している。さらに、各ファイバレーザ 2, 3 は、中間部 2 d, 3 d においてコア 2 a, 3 a の径を細く形成されている。そして、ファイバレーザ装置 1 では、コア 2 a, 3 a を細径化した中間部 2 d, 3 d が近接して配置されている。この近接化では、レーザ光の発振波長程度（数  $\mu\text{m}$ ）に近接化する。なお、ファイバレーザ装置 1 では、中間部 2 d, 3 d より出力側（光ファイバカプラで構成した場合には、光ファイバカプラより出力側）がファイバレーザ 2, 3 のポート部である。

上記構成のファイバレーザ装置 1 において、各ファイバレーザ 2, 3 のコア 2 a, 3 a に励起光を照射すると、レーザ活性物質が励起されてレーザ発振が起こり、異なる発振波長のレーザ光を各々発生する。この際、ファイバレーザ装置 1 では、ファイバレーザ 2, 3 の中間部 2 d, 3 d においてコア 2 a, 3 a が細径化されているので、その部分からレーザ光が多量にしみ出す。そして、そのしみ出したレーザ光の一部が、他方のファイバレーザ 2, 3 のコア 2 a, 3 a 内に侵入し、侵入されたコア 2 a, 3 a で発生しているレーザ光と結合して共振器 4, 5 内で注入同期する。このとき、ファイバレーザ 2, 3 のいずれか一方のポート部に損失を与えると、損失を与えられていない他方のファイバレーザ 2, 3 の他端部 2 c, 3 c からコヒーレント加算されたレーザ光が出力する。このコヒーレント加算された出力は、ファイバレーザ 2, 3 が独立してレーザ光を出力した場合の各レーザ光の出力値のほぼ加算値となる。

なお、コア 2 a, 3 a の細径化することによりレーザ光のしみ出しを促進しているが、コア 2 a, 3 a を細径化しない場合でも、コア 2 a, 3 a からはレーザ光がしみ出すので、特に、コア 2 a, 3 a を細径化しなくてもよい。最も重要点は、コア 2 a, 3 a を近接して配置することである。コア 2 a, 3 a 間の距離が短いほど、近接場相互作用が強くなり、コア 2 a, 3 a を近接する区間を短くできる（光ファイバカプラで構成した場合には、光ファイバカプラの長さを短くできる）。一方、コア 2 a, 3 a 間の距離が長くても、コア 2 a, 3 a を近接する

区間を長くすることにより同様の作用を得ることができる。

上記原理によるコヒーレント加算は、ファイバレーザの本数に関係なく実現可能である。図 2 に示すように、N 本のファイバレーザ 1 2, . . . を備えるファイバレーザ装置 1 1 は、各ファイバレーザ 1 2, . . . が上記したファイバレーザ 2, 3 と同様の構成を有しており、各ファイバレーザ 1 2, . . . が独立してレーザ光を出力した場合の出力値を P とする。このファイバレーザ装置 1 1 では、一本を除いて他のファイバレーザ 1 2, . . . のポート部に損失を与えると、その損失を与えていない一本のファイバレーザ 1 2 から  $N \times P$  の出力（但し、実際には損失によって数%程度出力が低下する）を得ることができる。

図 3 を参照して、本実施の形態に係るファイバレーザ装置 2 1 の構成について説明する。図 3 は、本実施の形態に係るファイバレーザ装置の構成図である。

ファイバレーザ装置 2 1 は、二本のファイバレーザ 2 2, 2 3 を備えており、二本のファイバレーザ 2 2, 2 3 のレーザ光をコヒーレント加算した出力を一方のファイバレーザから出力することができる。ファイバレーザ装置 2 1 では、二本のファイバレーザ 2 2, 2 3 を結合するためにその中間部 2 2 d, 2 3 d に光ファイバカプラ 2 8 が設けられており、この光ファイバカプラ 2 8 によって二本のファイバレーザ 2 2, 2 3 間のレーザ光のコヒーレント結合を行っている。

ファイバレーザ 2 2 は、石英系シングルモード光ファイバ 2 2 e のコア内にエルビウムを添加したシングルモードファイバレーザであり、光ファイバ 2 2 e 全体で共振器 2 4 を構成しているとともに WDM[Wavelength Division Multiplexing] 結合器 2 6 により励起光を導入している。そして、ファイバレーザ 2 2 は、発振波長が 1 5 5 6 . 9 nm のレーザ光を他端部 2 2 c のポート A から出力し、非結合時に独立して出力した場合には 1 . 3 6 W の出力値である。また、ファイバレーザ 2 2 は、レーザ間で偏光を同じにして高い加算効率を得るために、一端部 2 2 b 側に偏波制御器 3 0 を備えている。なお、コヒーレント加算は複数の電場の干渉のため、偏光が同じでないと高い加算効率を得られないので、ファイバ



レーザ装置 21 では偏波制御器 30 を用いており、ファイバレーザ 22 ではなく、ファイバレーザ 23 に設けてもよい。なお、偏波を保存するファイバを用いれば、偏波制御器 30 は不要である。

共振器 24 は、ファイバレーザ 22 の一端部 22 b に設けられたファイバ回折格子 (FBG [Fiber Bragg Grating]) 24 a 及び他端部 22 c に設けられた反射端面 24 b から構成される。ファイバ回折格子 24 a は、波長が 1556.9 nm の光を 99% より大きな反射率 (ほぼ 100% の反射率) で反射し、それ以外の波長の光を透過する特性を有する。反射端面 24 b は、波長が 1556.9 nm の光を 3.4% の反射率で反射するとともにその残りを透過する特性を有する。

WDM 結合器 26 は、1484 nm で 2.05 W の励起光を共振器 24 内のコアに結合させる。

ファイバレーザ 23 は、石英系シングルモード光ファイバ 23 e のコア内にエルビウムを添加したシングルモードファイバレーザであり、光ファイバ 23 e 全体で共振器 25 を構成しているとともに WDM 結合器 27 により励起光を導入している。そして、ファイバレーザ 23 は、発振波長が 1557.1 nm のレーザ光を他端部 23 c のポート B から出力し、非結合時に独立して出力した場合には 1.47 W の出力値である。

共振器 25 は、ファイバレーザ 23 の一端部 23 b に設けられたファイバ回折格子 (FBG) 25 a 及び他端部 23 c に設けられた反射端面 25 b から構成される。ファイバ回折格子 25 a は、波長が 1557.1 nm の光を 99% より大きな反射率 (ほぼ 100% の反射率) で反射し、それ以外の波長の光を透過する特性を有する。反射端面 25 b は、波長が 1557.1 nm の光を 3.4% の反射率で反射するとともにその残りを透過する特性を有する。

WDM 結合器 27 は、1484 nm で 2.05 W の励起光を共振器 25 内のコアに結合させる。

図4 A、図4 B、図4 Cも参照して、光ファイバカプラ28について説明する。図4 Aは、図3の光ファイバカプラの側面図である。図4 Bは、図3の光ファイバカプラの熔融延伸部の平面図である。図4 Cは、図4 BのI-I線に沿った断面図である。

5 光ファイバカプラ28は、2×2で分岐比50:50の光ファイバカプラであり、二本の光ファイバ22e, 23eのコア22a, 23aからレーザ光をしみ出させ、そのしみ出したレーザ光を他方のコア22a, 23a内で結合させる機能を有する。そのために、光ファイバカプラ28は、二本の光ファイバ22e, 23eの中間部22d, 23dを熔融して延伸し、その二本の光ファイバ22e, 10 23eのクラッド22f, 23f間を接合させた熔融延伸部28aを有する。熔融延伸部28aでは、光ファイバ22e, 23e(コア22a, 23a)が細径化し、コア22a, 23aが非常に近接して配置された状態となっている。

光ファイバカプラ28では、熔融延伸部28aを石英系のサブストレーツ28b上に固定するとともにインバー28c, 28c及びシール材28d, 28dで 15 形成する熱膨張係数の小さい空間内で封止している。

また、ファイバレーザ装置21は、コヒーレント加算したレーザ光を一方のファイバレーザ22, 23から出力するために、他方の光ファイバ22e, 23eのポート部に損失を与えている。そのために、ファイバレーザ装置21では、一方の光ファイバ22e, 23eのポート部の曲げ損失を積極的に増加させるため 20 に、光ファイバ22e, 23eの一方のポート部に曲げ損失部29を設け、光ファイバ22e, 23eの一方のポート部の曲げ回数を多くして曲げ損失を強制的に増加している。図3では、光ファイバ23eのポート部の曲げ損失を増加しているの、ファイバレーザ22のポートAからコヒーレント加算したレーザ光が出力する。

25 図5も参照して、ファイバレーザ装置21の作用について説明する。図5は、ファイバレーザ装置の出力スペクトルを示す図である。

ファイバレーザ装置 21 では、各 WDM 結合器 26, 27 から各光ファイバ 22 e, 23 e のコア 22 a, 23 a に励起光を結合すると、コア 22 a, 23 a 内のエルビウムが励起状態となり、各共振器 24, 25 内を往き来する。そして、各共振器 24, 25 内でレーザ増幅を受け、各共振器 24, 25 内で異なる発振波長 (1556.9 nm と 1557.1 nm) のレーザ光を各々発生し、各レーザ光がコア 22 a, 23 a 内を伝播する。

このとき、光ファイバカプラ 28 の溶融延伸部 28 a では、コア 22 a, 23 a が細径化しているため、コア 22 a, 23 a からレーザ光がしみ出す。また、一方の光ファイバ 23 e には曲げ損失部 29 において曲げによる損失が与えられているので、光ファイバカプラ 28 の溶融延伸部 28 a では、コア 23 a からしみ出したレーザ光が、近接して配置されているコア 22 a 内に引き込まれ、その引き込まれたレーザ光がコア 22 a を伝播する。そして、その引き込まれたレーザ光が、共振器 24 内を往き来しているうちに、共振器 24 において発生してコア 22 a を伝播しているレーザ光とコヒーレント結合し、位相が同期するモードのみ発振するようになる。そして、このコヒーレント結合 (加算) したレーザ光が、反射端面 24 b を透過し、ポート A より出力する。

ポート A から出力したコヒーレント加算されたレーザ光は、2.57 W の出力値であり、各ファイバレーザ 22, 23 で独立して出力した場合 (ポート A : 1.36 W、ポート B : 1.47 W) の 2 倍近い出力値である。また、図 5 に示すように、各ファイバレーザ 22, 23 から独立してレーザ光を出力する場合には各共振器 24, 25 の波長特性に応じて異なる出力スペクトルであるが、コヒーレント結合して出力する場合には各ファイバレーザ 22, 23 の各発振波長の中間波長である 1557.05 nm 付近でシングルピークを示す出力スペクトルとなる。ちなみに、コヒーレント結合時には、ポート B から出力されたレーザ光は、0.17 W の出力値であり、ポート A からの出力スペクトルと同様に、中間波長である 1557.05 nm 付近でシングルピークを示す出力スペクトルとなる。

。この場合、コヒーレント加算の加算効率は、91%であり、十分に実用可能な加算効率である。なお、図5は、横軸が波長(nm)、縦軸が光の出力(W/nm)であり、実線がポートAからの出力スペクトル、破線がポートBからの出力スペクトルであり、太線がコヒーレント結合時の出力スペクトル、細線が各ファイバレーザ独立時の出力スペクトルである。

図6A、図6B及び図7を参照して、ファイバレーザ装置21における結合原理と印可する損失についてももう少し説明しておく。図6Aは、ポートAから出力する場合のYモードによる出力パターンを示す図である。図6Bは、ポートBから出力する場合のYモードによる出力パターンを示す図である。図7は、ファイバレーザ装置においてポートAに印可する曲げ損失を変えた場合のポートA及びポートBの出力の変化を示す図である。

ファイバレーザ装置21では、二本のファイバレーザ22、23が共振器長やファイバ伝搬定数が完全にバランスされている場合、スーパモード理論により、ポートAとポートBに等価な出力を持ち、相対位相のみが異なる2つのモードに対角化される。しかし、共振器長を異ならせる等のアンバランスな状態にした場合、図6A及び図6Bに示すように、ファイバレーザ装置21では、複合共振器効果により、一方のポートにのみ出力が集中し、各々のポート部を軸とする2つのYモードが存在する。2つのポートA、Bの損失をアンバランスにしたりあるいは一方の反射を消失させることで、2つのYモードの閾値に差をつけることができ、損失が少ないポート部を軸とするYモードが選択的に励振される。

そこで、ファイバレーザ装置21では、2つのYモードの閾値に差を与えていずれかのYモードを選択励振するために、一方のポート部の曲げ損失を強制的に大きくしている。図7は、横軸が曲げ損失(%）、縦軸がポートからの出力(W)であり、ポートB側の曲げ損失が9%の場合にポートA側の曲げ損失を変化させた場合のポートA及びポートBの出力を示している。ポートA側へ与える曲げ損失が9%より小さい場合、ファイバレーザ装置21では、ポートAからコヒー

レント加算されたレーザ光が出力する。一方、ポートA側へ与える曲げ損失が9%より大きい場合、ファイバレーザ装置21では、ポートBからコヒーレント加算されたレーザ光が出力する。また、ポートA側へ与える曲げ損失が9%程度の場合、ファイバレーザ装置21では、ポートA側とポートB側では曲げ損失がほぼ等しくなり、ポートA及びポートBから同程度のレーザ光が出力する。したがって、ファイバレーザ装置21では、光ファイバ22e, 23eのポート部に損失を印可することにより、出力ポートのスイッチングを実現できる。

また、ファイバレーザを利用してレーザ光をコヒーレント加算することによって高い加算効率が得られる理由についてもう少し説明しておく。ファイバレーザは、共振器長が10m前後と長いために縦モード間隔が10MHz程度に過ぎないため、その2つの長さの異なる共振器からなる複合共振器が形成する固有モード、すなわちYモードが発振可能帯域の中に複数存在し、ファイバの長さを制御することなく安定な高加算効率が実現できる。さらに、ファイバの高利得特性による低Q値動作は、多数のファイバレーザのコヒーレント加算を容易にする。また、ファイバレーザの特長である横モードの制御性も、このような従来にない高い加算効率を得るために寄与していると考えられる。

このファイバレーザ装置21によれば、光ファイバカプラ28によってコア22a, 23aを細径化するとともに近接して配置し、一方の光ファイバ22e, 23eのポート部に損失を与えるだけの簡単な構成によりレーザ光のコヒーレント加算を実現でき、しかも、加算効率が非常に高い。また、このファイバレーザ装置21では、一方の光ファイバ22e, 23eのポート部に損失を与えることによって、出力ポートのスイッチングを実現できる。さらに、このファイバレーザ装置21では、一方のコアからしみ出したレーザ光によって他方の共振器に対し注入同期を行い自動的に加算Yモードが励振し、位相结合するために精密な調整を必要としない。

図8を参照して、コアの細径化及び近接を行う部分を一体型ファイバカプラで

構成した場合のファイバレーザ装置 31 について説明する。図 8 は、コアの細径化及び近接を行う部分を一体型ファイバカップラで構成した場合の模式図である。

ファイバレーザ装置 31 は、八本のファイバレーザ 32～39 を備えており、八本のファイバレーザ 32～39 のレーザ光をコヒーレント加算した出力を一本のファイバレーザから出力することができる。そのために、ファイバレーザ装置 31 には光ファイバカップラ 40 が設けられており、この光ファイバカップラ 40 によって八本のファイバレーザ 32～39 間のレーザ光のコヒーレント結合を行っている。八本のファイバレーザ 32～39 は、上記したファイバレーザ 22, 23 と同様の構成を有するものとする。なお、各ファイバレーザ 32～39 のレーザ光の発振波長は異なってもよいが、各共振器の発振可能帯域は重なっていない。

光ファイバカップラ 40 は、 $8 \times 8$  で等分岐比の光ファイバカップラであり、八本の光ファイバ 32e～39e のコアからレーザ光をしみ出させ、そのしみ出したレーザ光を他のコア内で結合させる機能を有する。そのために、光ファイバカップラ 40 は、八本の光ファイバ 32e～39e を溶融して延伸し、その八本の光ファイバ 32e～39e のクラッド間を接合させた溶融延伸部を有する。溶融延伸部では、八本の光ファイバ 32e～39e (コア) が細径化し、八本のコアが非常に近接して配置された状態となっている。

また、ファイバレーザ装置 31 は、コヒーレント加算したレーザ光を一本のファイバレーザから出力するために、他の七本の光ファイバに損失を与えている。図 8 の例では、ファイバレーザ 35 から出力するために、その他の七本の光ファイバ 32e～34e, 36e～39e に損失を与えている。このように構成すると、ファイバレーザ装置 31 では、各ファイバレーザ 32～39 から独立して出力した場合の 8 倍弱のレーザ出力がファイバレーザ 35 から得られる。

ファイバレーザ装置 31 によれば、 $8 \times 8$  の光ファイバカップラ 40 によって八本のファイバレーザ 32～39 を結合する簡単な構成で、高出力のレーザ出力を

高加算効率で得ることができる。この例では $8 \times 8$ の光ファイバカップラ 40 で 8 倍弱のレーザ出力を得る構成について説明したが、その数に限定することなく、 $N \times N$ の光ファイバカップラにより  $N$  倍弱のレーザ出力を得ることが可能である。

図 9 を参照して、コアの細径化及び近接を行う部分をカスケード接続で構成した場合のファイバレーザ装置 51 について説明する。図 9 は、コアの細径化及び近接を行う部分をカスケード接続で構成した場合の模式図である。

ファイバレーザ装置 51 は、八本のファイバレーザ 52 ～ 59 を備えており、八本のファイバレーザ 52 ～ 59 のレーザ光をコヒーレント加算した出力を一本のファイバレーザから出力することができる。そのために、ファイバレーザ装置 51 では、第一階層として、四個の  $2 \times 2$  の光ファイバカップラ 60 ～ 63 によって二本毎にファイバレーザ 52 ～ 59 を結合する。さらに、ファイバレーザ装置 51 では、第二階層として、二個の  $2 \times 2$  の光ファイバカップラ 64, 65 によって、コヒーレント加算されたレーザ光を出力する四本のファイバレーザ 53, 54, 57, 58 を二本毎に結合する。さらに、ファイバレーザ装置 51 では、第三階層として、一個の  $2 \times 2$  の光ファイバカップラ 66 によって、コヒーレント加算されたレーザ光を出力する二本のファイバレーザ 54, 57 を結合する。八本のファイバレーザ 52 ～ 59 は、上記したファイバレーザ 22, 23 と同様の構成を有するものとする。なお、各ファイバレーザ 52 ～ 59 のレーザ光の発振波長は異なっているとしてもよいが、各共振器の発振可能帯域は重なっていなければならない。また、光ファイバカップラ 60 ～ 66 は、上記した光ファイバカップラ 28 と同様の構成を有するものとする。

また、ファイバレーザ装置 51 は、コヒーレント加算したレーザ光を一本のファイバレーザから出力するために、他の七本の光ファイバに段階的に損失を与えている。図 9 の例では、まず、第 1 階層でファイバレーザ 53, 54, 57, 58 から出力するためにその他の四本の光ファイバ 52 e, 55 e, 56 e, 59 e に損失を与え、さらに、第二階層でファイバレーザ 54, 57 から出力するた

めにその他の二本の光ファイバ53e, 58eに損失を与え、第三階層でファイバレーザ54から出力するためにその他の一本の光ファイバ57eに損失を与えている。このように構成すると、ファイバレーザ装置51では、各ファイバレーザ52～59から独立して出力した場合の8倍弱のレーザ出力がファイバレーザ54から得られる。

ファイバレーザ装置51によれば、7個の2×2の光ファイバカップラ60～66を用いてカスケード接続することによって、八本のファイバレーザ52～59のコヒーレント結合を実現し、高出力のレーザ出力を高加算効率で得ることができる。この例では7個の2×2の光ファイバカップラ60～66を用いて8個のファイバレーザ52～59をコヒーレント結合する構成について説明したが、その数に限定することなく、簡単な構成により多段でコヒーレント加算することができる。また、4×4や3×3の光ファイバカップラ等を用いてカスケード接続によって、多段でコヒーレント加算することも可能である。

以上、本発明に係る実施の形態について説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されることなく様々な形態で実施される。

例えば、本実施の形態ではファイバレーザ装置に二本のファイバレーザを備える構成について詳細に説明したが、三本以上のファイバレーザを備えるファイバレーザ装置でも同様の作用効果を有し、多数本のファイバレーザにより高出力のレーザ光を得ることが可能となる。

また、本実施の形態では損失として曲げ損失を与えたが、端面に処理を施す等の他の手段により損失を与えてもよい。

また、本実施の形態ではコアの細径化部分に光ファイバカップラ、共振器としてFBGや励起光の導入にWDM結合器等を用いたが、これら構成に限定されることなく、その他の手段によって各部を構成してよい。特に、コアの細径化部分は、光ファイバカップラでなくても、ビームスプリッタであればよい。

また、本実施の形態でレーザ活性物質としてエルビウムを用いたが、他の希土



類元素等を用いてもよい。

また、本実施の形態では二本のファイバレーザのレーザ光の発振波長を異なる波長（1556.9nmと1557.1nm）としたが、同じ波長でもよい。異なる波長とする場合には、各共振器の発振可能帯域は重なっていなければならない。

5

#### 産業上の利用可能性

本発明に係るファイバレーザ装置は、コア間を近接させてコアからしみ出したレーザ光によって注入同期させるという簡単な構成で、加算効率が非常に高いレーザ間のコヒーレント加算を実現できる。また、このファイバレーザ装置は、一方のコアからしみ出したレーザ光によって他方の共振器に対し注入同期を行い自動的に加算Yモードが励振し、位相結合するために精密な調整を必要としない。そのため、このファイバレーザ装置は、広く産業用として実用可能である。

10

さらに、本発明に係るファイバレーザ装置は、光ファイバカプラによりコアの細径化部分及びコア間の近接部分を構成することにより、装置全体を簡単に構築することができる。また、本発明に係るファイバレーザ装置は、出力をさせるファイバレーザ以外のファイバレーザのポート部に損失を印可することにより、出力先を制御でき、スイッチングが可能である。

15

## 請求の範囲

1. コア内のレーザ活性物質を励起光で励起してレーザ光を発生し、コア内にレーザ光を伝播して端部より出力するファイバレーザを複数本備えるファイバレーザ装置であって、

5 前記各ファイバレーザは、両端部においてレーザ光を反射する共振器構造を有し、

前記各ファイバレーザのコアの一部を近接し、任意のファイバレーザのコア内から出たレーザ光によって他のファイバレーザの共振器内で注入同期を行うことを特徴とするファイバレーザ装置。

10 2. 前記各ファイバレーザは、コアの一部を細径化した構造を有し、  
前記各コアの細径化部分を近接することを特徴とする請求項 1 に記載するファイバレーザ装置。

3. 前記細径化部分及び前記近接部分を光ファイバカプラで構成することを特徴とする請求項 2 に記載するファイバレーザ装置。

15 4. 前記複数本のファイバレーザのうち一本のファイバレーザ以外のファイバレーザのポート部に損失を与えることを特徴とする請求項 1 ～請求項 3 のいずれか 1 項に記載するファイバレーザ装置。

図1

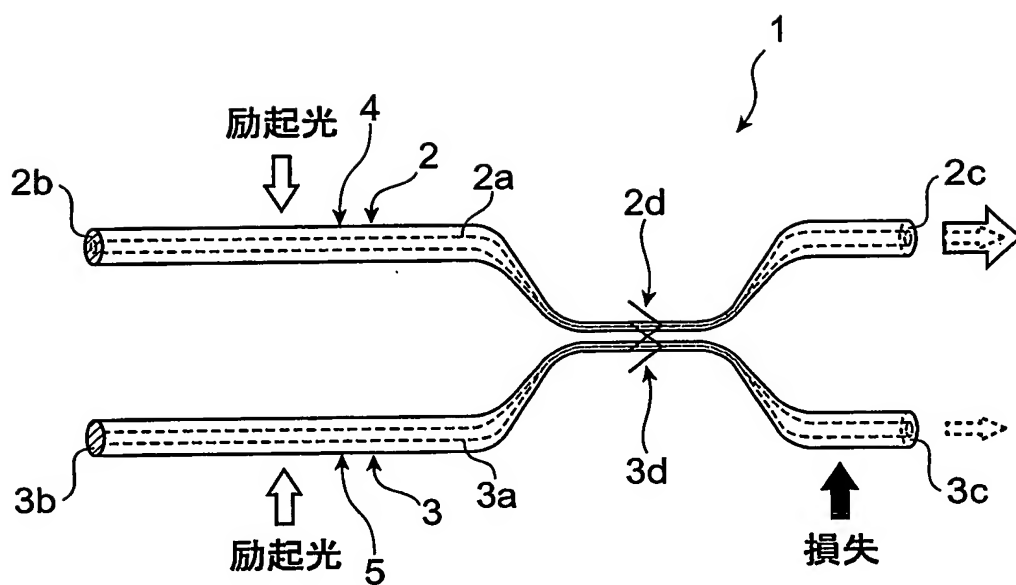


図2

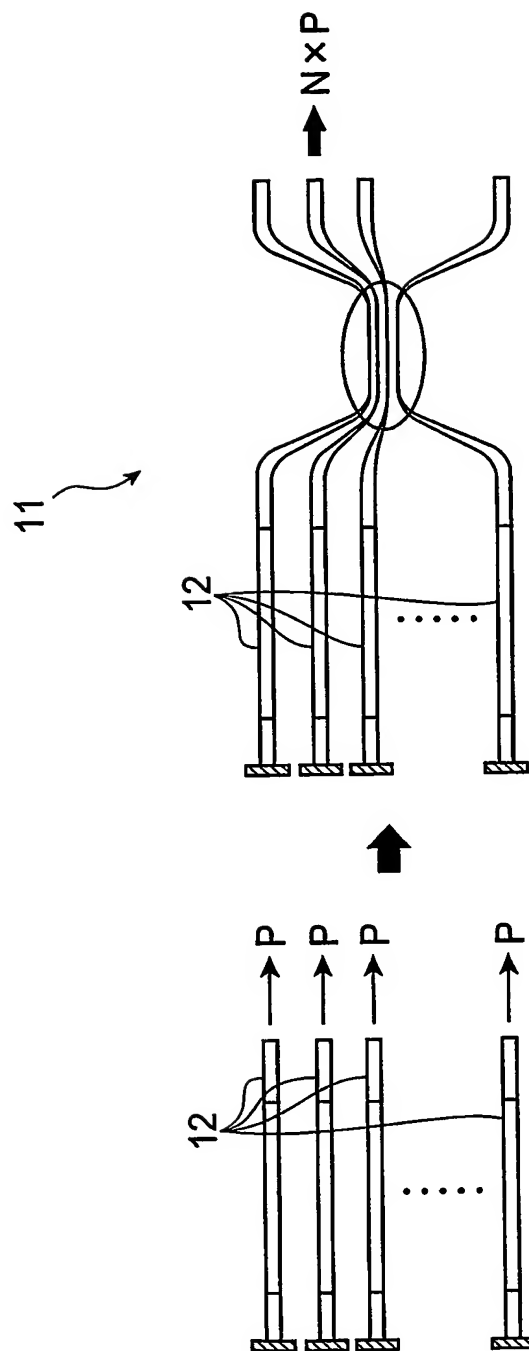


図3

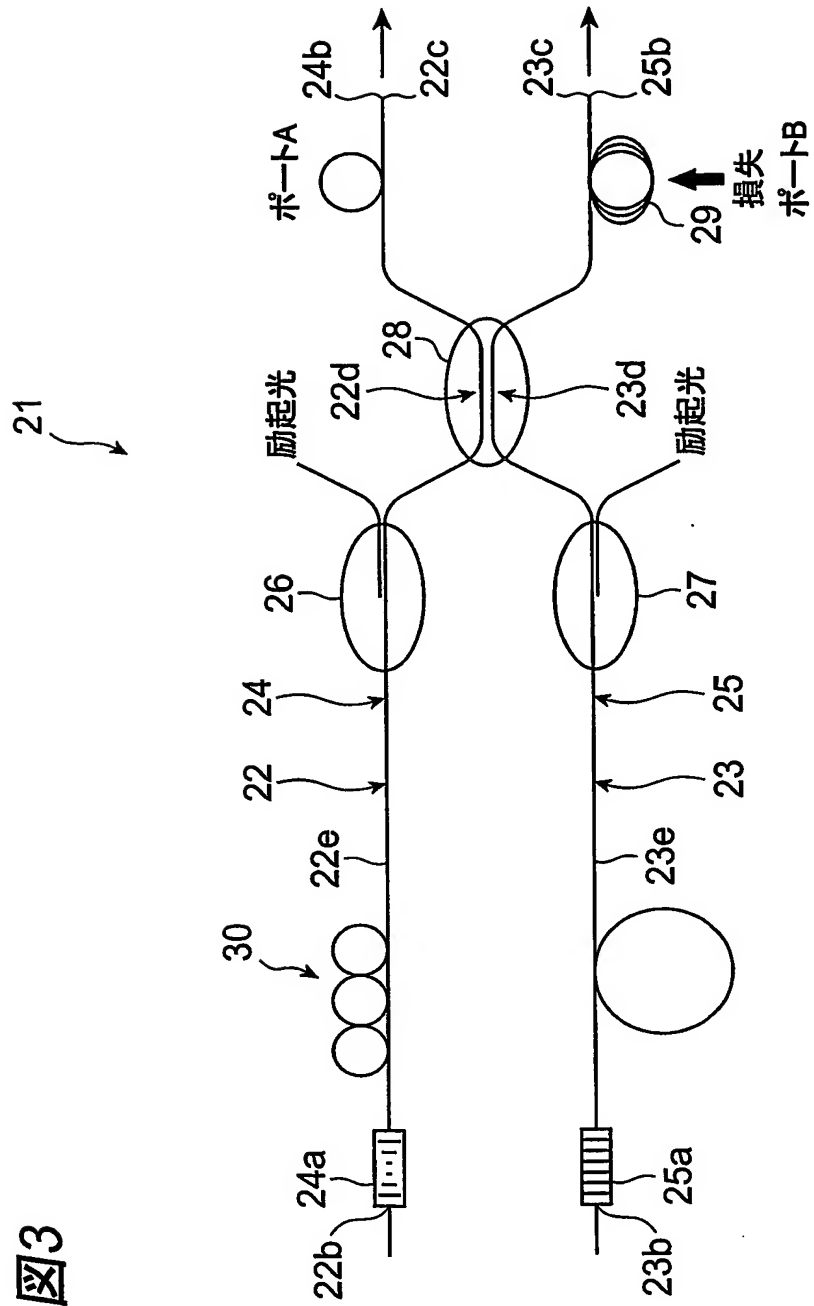


図4A

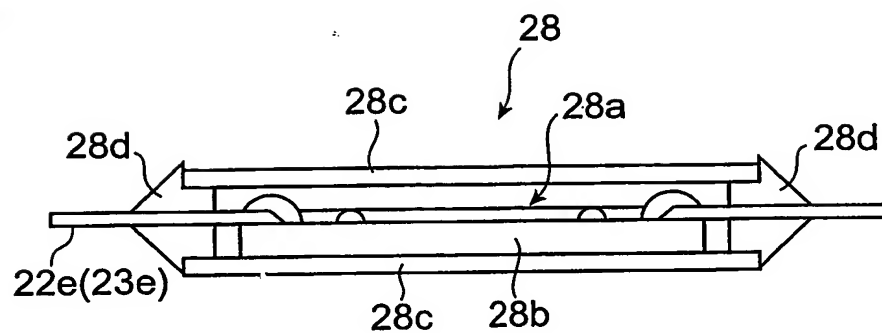


図4B

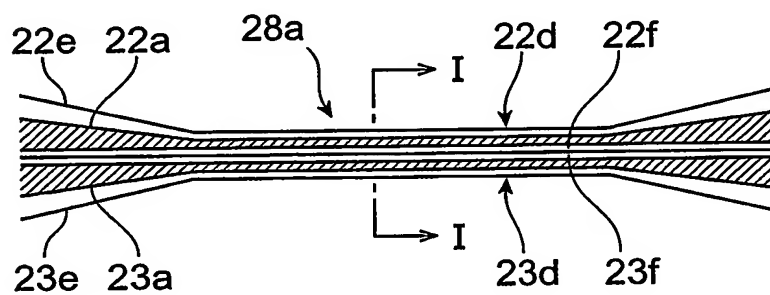


図4C

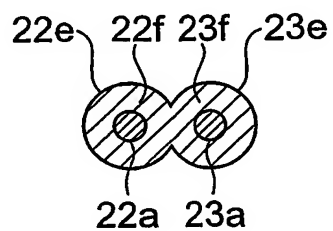


図5

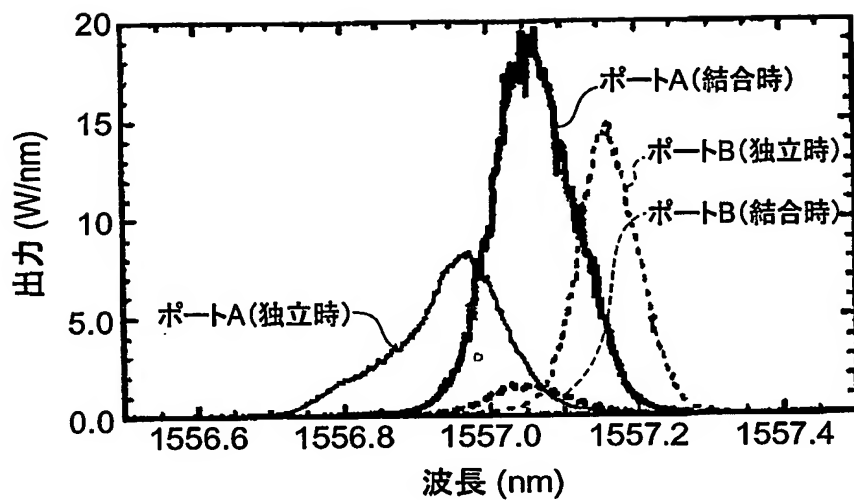


図6A

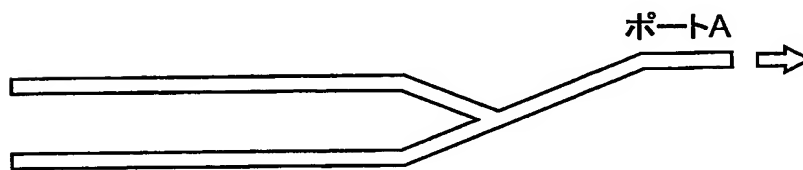


図6B

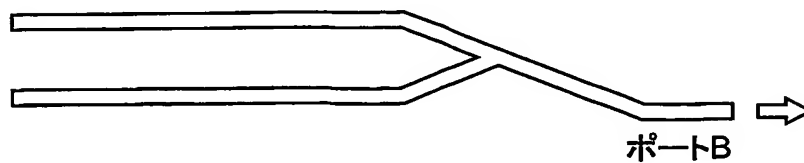


図7

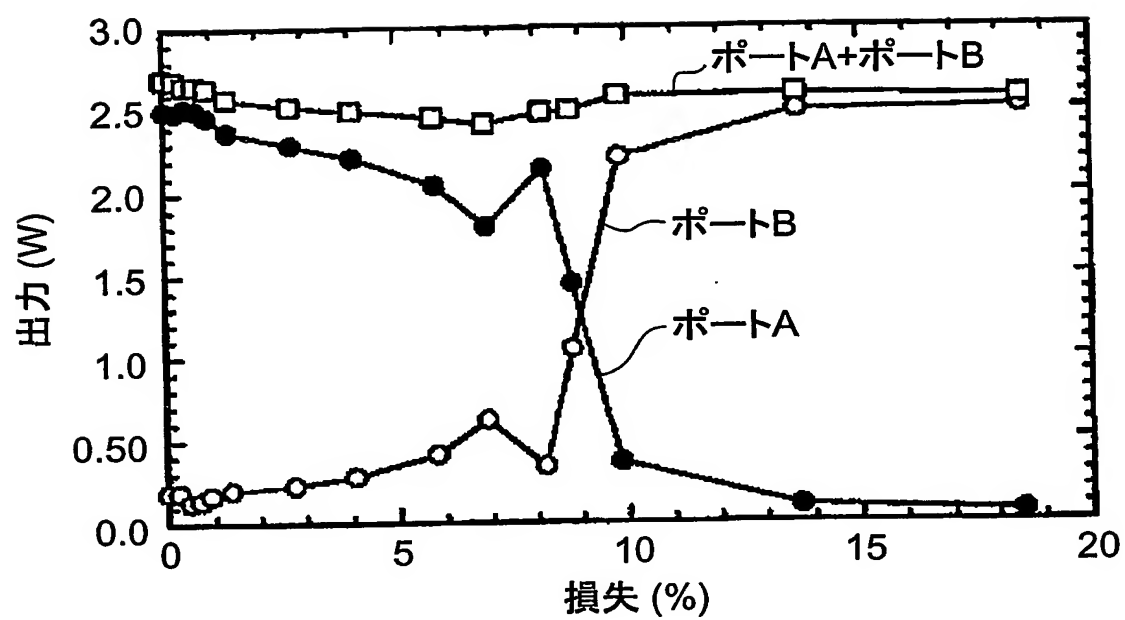




図8

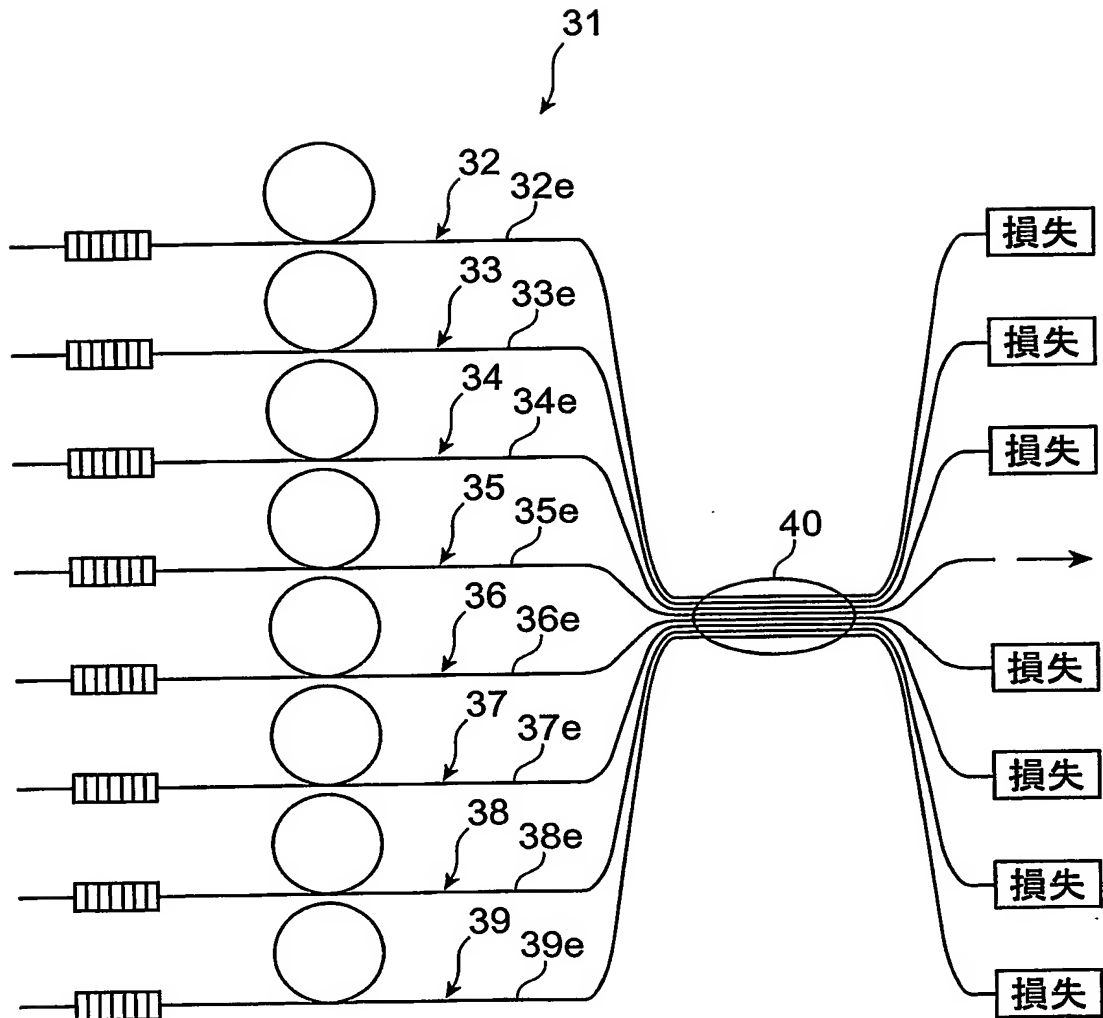
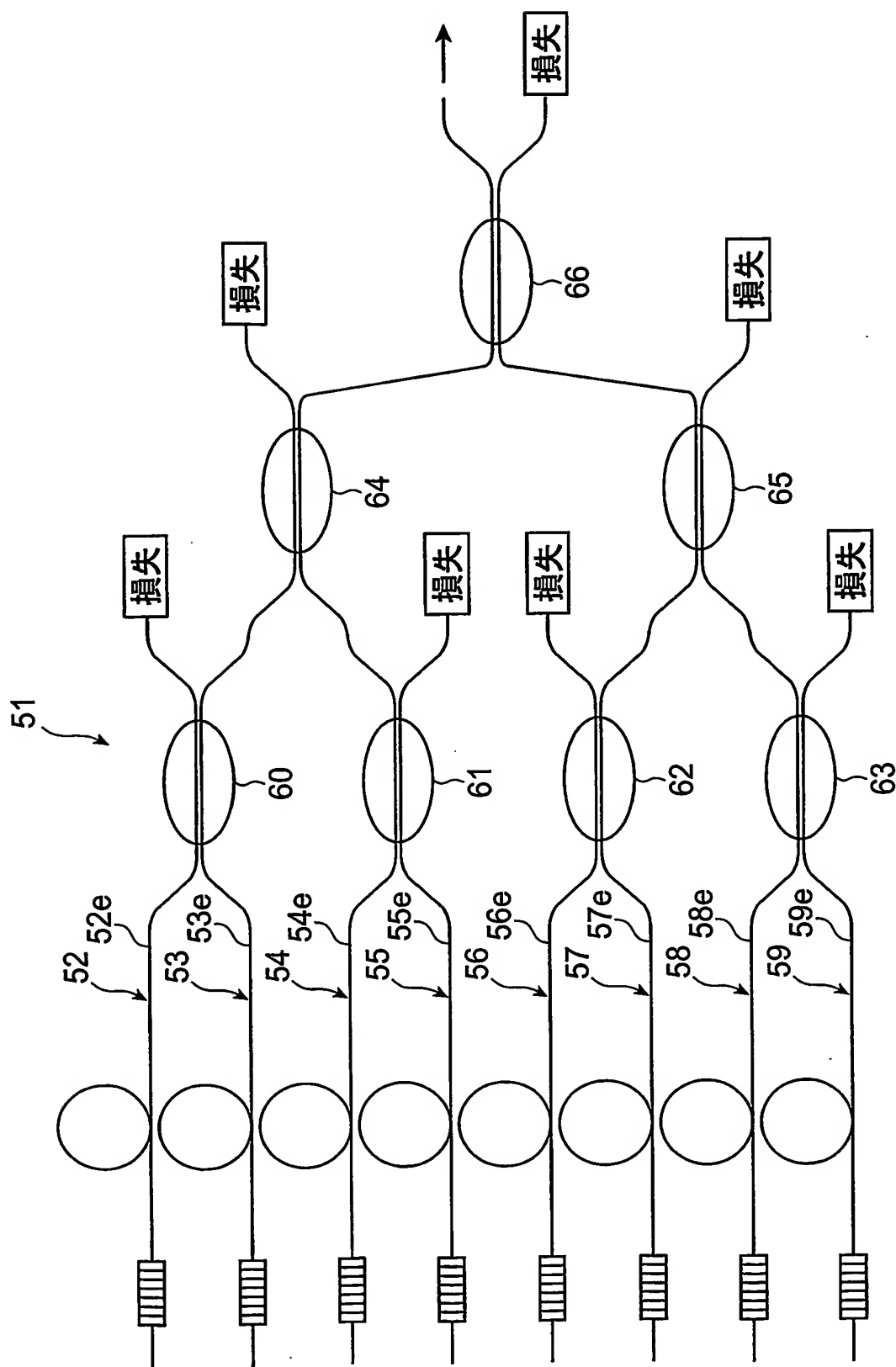


図9



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07886

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
Int.Cl<sup>7</sup> H01S3/067, H01S3/07, H01S3/082

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> H01S3/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
WPI (DIALOG), INSPEC (DIALOG), JOIS (JICST FILE)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	SIMPSON, T.B. et al., Extraction characteristics of a dual fiber compound cavity. Optics Express, 07 October, 2002 (07.10.02), Vol.10, No.20, pages 1060 to 1073, URL: <a href="http://www.opticsexpress.org/">http://www.opticsexpress.org/</a>	1-4
X	SIMPSON, T.B. et al., Coherent Intracavity Coupling of Fiber Lasers., 2001 IEEE/LEOS Annual Meeting Conference Proceedings (LEOS 2001), 14 November, 2001 (14.11.01), Vol.1, pages 62 to 63, ISSN:1092-8081	1-4
X	KOZLOV, V.A. et al., All-fiber coherent beam combining of fiber lasers. Optics Letters, 15 December, 1999 (15.12.99), Vol.24, No.24, pages 1814 to 1816	1-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
17 July, 2003 (17.07.03)

Date of mailing of the international search report  
05 August, 2003 (05.08.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07886

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	SHIRAKAWA, A. et al., Coherent addition of fiber lasers by use of a fiber coupler. Optics Express, 21 October, 2002 (21.10.02), Vol.10, No.21, pages 1167 to 1172, URL: <a href="http://www.opticsexpress.org/">http://www.opticsexpress.org/</a>	1-4
P,Y	Tomoki SEKIGUCHI et al., "Hikari Fiber Coupler o mochiita Laser diode no Coherent Kasan", 2002 nen (Heisei 14 nen) Shuki Dai 63 kai Extended abstracts; The Japan Society of Applied Physics, 24 September, 2002 (24.09.02), No.3, page 933, (lecture No.25p-YC-1)	1-4
X	Akira SHIRAKAWA et al., "Hokosei Ketsugoki o Mochiita Coherent Fiber Array Laser", 2002 nen (Heisei 14 nen), Shunki Dai 49 kai Oyo Butsurigaku Kankei Rengo Koenkai Koen Yokoshu, 27 March, 2002 (27.03.02), No.3, page 1055, (lecture No.30a-ZG-9)	1-4
X	LYNDIN, N.M. et al., Laser system composed of several active elements connected by single-mode couplers. Quantum Electronics, December 1994, Vol.24, No.12, pages 1058 to 1061	1-4
X	LYNDIN, N.M. et al., Coherent coupling of two Nd <sup>3+</sup> -doped single-mode waveguide lasers using Y-junction. Proceedings of the SPIE- The International Society for Optical Engineering, April 1994, Vol.2212, pages 564 to 570	1-4
P,X	SABOURDY, D. et al., Power scaling of fiber lasers with all-fiber interferometric cavity. Electronics Letters, 04 July, 2002 (04.07.02), Vol.38, No.14, pages 692 to 693	1-4
A	MOREL, J. et al., Coherent coupling of an array of Nd <sup>3+</sup> -doped single-mode fiber lasers by use of an intracavity phase grating., Optics Letters, 15 September, 1993 (15.09.93), Vol.18, No.18, pages 1520 to 1522	1-4

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S3/067, H01S3/07, H01S3/082

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S3/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI (DIALOG), INSPEC (DIALOG), JOIS (JICSTファイル)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, X	SIMPSON, T.B. et al. Extraction characteristics of a dual fiber compound cavity. Optics Express, 2002.10.07, Vol.10, No.20, p.1060-1073, URL: <a href="http://www.opticsexpress.org/">http://www.opticsexpress.org/</a>	1-4
X	SIMPSON, T.B. et al. Coherent Intracavity Coupling of Fiber Lasers. 2001 IEEE/LEOS Annual Meeting Conference Proceedings (LEOS 2001), November 2001, 14th, Vol.1, p.62-63, ISSN:1092-8081	1-4
X	KOZLOV, V.A. et al. All-fiber coherent beam combining of fiber lasers. Optics Letters, 1999.12.15, Vol.24, No.24, p.1814-1816	1-3

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17.07.03

国際調査報告の発送日

05.08.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高 芳徳



2K 9813

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, X	SHIRAKAWA, A. et al. Coherent addition of fiber lasers by use of a fiber coupler. Optics Express, 2002.10.21, Vol.10, No.21, p.1167-1172, URL: <a href="http://www.opticsexpress.org/">http://www.opticsexpress.org/</a>	1-4
P, Y	関口知樹 他, 光ファイバーカップラーを用いたレーザーダイオードのコヒーレント加算. 2002年(平成14年)秋季第63回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, 2002.09.24, No.3, p.933 (講演番号25p-YC-1)	1-4
X	白川晃 他, 方向性結合器を用いたコヒーレントファイバーアレイレーザー. 2002年(平成14年)春季第49回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 2002.03.27, No.3, p.1055 (講演番号30a-ZG-9)	1-4
X	LYNDIN, N.M. et al. Laser system composed of several active elements connected by single-mode couplers. Quantum Electronics, December 1994, Vol.24, No.12, p.1058-1061	1-4
X	LYNDIN, N.M. et al. Coherent coupling of two Nd <sup>3+</sup> -doped single-mode waveguide lasers using Y-junction. Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, April 1994, Vol.2212, p.564-570	1-4
P, X	SABOURDY, D. et al. Power scaling of fibre lasers with all-fibre interferometric cavity. Electronics Letters, 2002.07.04, Vol.38, No.14, p.692-693	1-4
A	MOREL, J. et al. Coherent coupling of an array of Nd <sup>3+</sup> -doped single-mode fiber lasers by use of an intracavity phase grating. Optics Letters, 1993.09.15, Vol.18, No.18, p.1520-1522	1-4